

DİREKSİYON MİLLERİNDE, DİREKSİYON ÜST MİLİ VE ÇATALLI PARÇA BAĞLANTISINDA KULLANILAN BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN ÜRÜN ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Onur ŞEN¹, Mert Can KAHYALAR¹

¹Tirsan Kardan A.Ş., Manisa, Türkiye

ÖZET

Motorlu taşıtlar farklı işlevlere sahip birden çok alt sistemi bünyesinde barındırmaktadır. Bu alt sistemlerden biri de araca kılavuzluk eden ve son kullanıcı ile direkt temasta olan direksiyon sistemidir. Direksiyon sistemini oluşturan alt parçalar, parça geometrisi ve fonksiyonelliği açısından farklı yöntemler kullanılmasıyla birbiriyle ilişkilendirilerek bağlantılı hale getirilmektedir. Çalışmaya konu olan ve direksiyon sisteminde yer alan direksiyon üst mili ve çatallı parça arasındaki bağlantı, direksiyon üst mili uç kısmında yer alan spline formlu yapının et kalınlığının, mekanik birleştirme sağlamak üzere plastik olarak çatallı parça üzerine yığılması ile ortaya koyulmaktadır. Ardından, yığma işlemi ile ortaya koyulan deformasyon bölgesi üzerine punta kaynağı uygulanmaktadır. Bu çalışmada, söz konusu direksiyon üst mili ve çatallı parça arasındaki kurulan ve yukarıda tarif edilen bağlantının etkisi deneysel olarak ve sonlu elemanlar analizi uygulanarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda, punta kaynağının birleştirme üzerinde olumsuz etkisi olduğu görülmüştür. Ayrıca direksiyon üst mili uç kısmında yer alan spline formlu yapıdaki et kalınlığı artışının, yeterli plastik deformasyona uğradığı sürece olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Direksiyon üst mili, çatallı parça, plastik deformasyon, birleştirme

ABSTRACT

Motor vehicles have many subsystems with different functions. One of these subsystems is the steering system which guides the vehicle and is in direct contact with the end user. The sub-parts of the steering system are connected to each other by using different methods in terms of part geometry and functionality. The connection between the upper

steering shaft and the yoke part of the steering system, which is the subject of the study, is provided by stacking the wall thickness of the spline form at the end of the upper steering shaft upon the yoke part to provide mechanical joining. Then, spot welding is applied on the deformation zone generated by stacking. In this study, the effect of the connection between the upper steering shaft and the yoke part which is described above is investigated experimentally and by applying finite element analysis. As a result of the study, it was found that spot welding had a negative effect on the joining. In addition, it has been found that the increase in wall thickness of the spline form at the end of the upper steering shaft has a positive effect as long as a sufficient plastic deformation undergoes.

Keywords: Upper steering shaft, yoke part, plastic deformation, joining

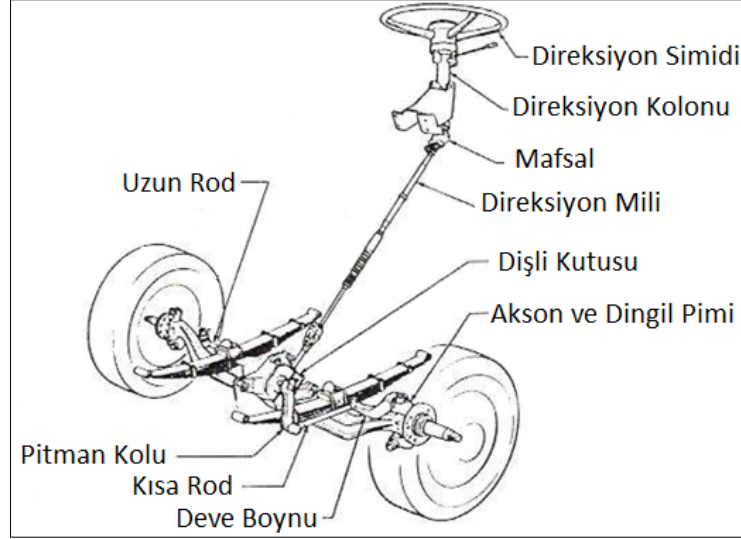
1. GİRİŞ

Direksiyon sistemi araç üzerinde yer alan, motor ve şanzıman kadar önem teşkil eden sistemlerden biridir. Çalışma esnasında direksiyon sisteminin sitem kararlılığını negatif yönde etkileyen çeşitli etkilere maruz kalması ve bunun yanı sıra sahip olduğu fonksiyonel özellikler, güvenlik açısından da bu sistemin önemini arttırmaktadır [1]. Ayrıca aracın yumuşak bir şekilde yön değiştirilmesini kolaylaştırmak ve lastiklerin en yüksek düzeyde yanal kuvvet üretme yeteneğinin kullanılması açısından da dinamik tasarımının önemli bir parçasıdır [2].

Direksiyon sistemi, kullanıcıdan ilk hareketi alan direksiyon simidi ile başlar ve birbirleri ile montaj ilişkisi içinde olan, ilk hareketin tekerleklere iletilmesini sağlayan parçaların tümünü kapsar. Şekil 1'de tipik bir direksiyon sistemi şematik olarak ifade edilmektedir.

Yol koşullarına bağlı olarak araç tekerleklerinde meydana gelen deplasmanlar, direksiyon sistemini meydana getiren alt parçaların açısız ve/veya doğrusal hareketleri ile absorbe edilmektedir. Böylece kullanıcının direksiyon simidi ile başlattığı yönlendirme araç üzerinde kolaylıkla aktarılmaktadır. Bu noktada, direksiyon sistemini oluşturan parçalardan biri olan direksiyon mili kilit bir rol oynamaktadır. Bu çalışmanın konusunu oluşturan, birbiri ile montaj bağlantısı olan direksiyon üst mili ve çatallı parça, direksiyon milini meydana

getiren elemanlarındandır. Mevcut tasarım gereği aralarındaki montaj bağlantısı, iki ayrı birleştirme tekniği içermektedir.



Şekil 1. Tipik bir direksiyon sistemi [3]

Genel olarak ürünler, birden çok tekil parçanın ve bu parçaları bir araya getirmek için ihtiyaç duyulan birleştirme süreçlerinin kullanımı ile ortaya koyulur. Birleştirme malzeme, teknik ve izlenen yaklaşımlar açısından oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir. Ürünün kendisinden beklenen fonksiyonu yerine getirmesinde ve üretim sürecinin verimliliğinde birleştirme yönteminin yeri büyüktür. Belirli bir fiziksel performansa ulaşmak amacıyla, malzeme veya parçalar arasında farklı tanımlamaların yapılabileceği bağlar ortaya koyar. Böylece birleştirme yöntemi çeşitli yaklaşımları, malzemeleri ve teknikleri kapsamaktadır [4]. K. Martinsen ve arkadaşlarının da [5] çalışmalarında bahsettiği gibi, literatürde birleştirme için yapılmış birçok tarife rastlanmaktadır. Messler [6] birleştirmeyi, tümleşik bir tertibat veya yapı elde etmek üzere ürünün ayrı parçalarını bir araya getiren proses olarak tanımlamaktadır. Campbell [7] ise birleştirmeyi, tekil parçaları daha büyük, daha karmaşık bir parça veya tertibata monte etmek için kullanılan çok sayıda işlem olarak görmektedir. Bu çalışmada ise, ele alınan tekil parçaların birleştirilmesinde plastik deformasyondan yararlanıldığı için yalnızca plastik deformasyon ile birleştirme konusundan bahsedilmektedir.

İmalatta plastik deformasyon, mekanik parçaları şekillendirmek amacıyla kullanılabilirdiği gibi mekanik özelliklerini kontrol etmek amacıyla da kullanılmaktadır. Plastik deformasyon ile birleştirmede, deformasyona uğrıtılacak parçanın yeterli sünekliğe sahip olması gerekir. Plastik deformasyonla birleştirme proseslerini iki gruba ayırmak mümkündür:

A) Metalurjik birleştirme,

- Haddeleme, ekstrüzyon, dövme vb. uygulamalar ile soğuk kaynak,
- Sürtünme kaynağı,
- Sürtünme karıştırma kaynağı,
- Direnç kaynağı, vb.,

B) Mekanik birleştirme,

- Kendi delen perçinler,
- Mekanik çivileme,
- Sıvı basıncı ile (hydroforming), elektromanyetik ve artımlı şekillendirme gibi yöntemlerle birleştirme,
- Kenar katlama, dikiş ve yığma (kenetlemeli kilitleme),

Mekanik birleştirme ile metalurjik birleştirme karşılaştırılacak olursa aralarındaki en belirgin fark, mekanik birleştirmede metalurjik birleştirmenin aksine temas halindeki yüzeyler birbirine yapışık değildir. Bu nedenle oksit filmin parçalanması ve ara yüzey sıcaklığında artış gerekli değildir. Mekanik birleştirme prosesinde, uygun basınç ve kenetlemeli kilitleme sağlamak üzere plastik deformasyon kontrol edilir. Plastik deformasyonla mekanik birleştirmede, arayüzey basıncı ve kenetlemeli kilitleme termal etkiler olmaksızın kullanılmaktadır [8].

Bu çalışmaya konu olan direksiyon üst mili ve çatallı parça arasında mevcut tasarım ve proses gereği sağlanan plastik deformasyonla birleştirme, mekanik ve metalurjik olmak üzere iki ayrı şekilde gerçekleştirilmektedir.

Mevcut durumdaki mekanik birleştirmede ilk olarak direksiyon üst mili uç kısmında yer alan pozitif spline formu, çatallı parça orta kısmında yer alan negatif spline formlu yuvaya oturtulur. Direksiyon üst milinin uç kısmında yer alan spline formlu yapının belirli bir et kalınlığına sahip olan çevresel duvarı, uygun bir aparat kullanılarak pres altında basma

kuvvetine maruz bırakılır. Basma kuvveti, üzerine etkidiği çevresel duvarı plastik deformasyona uğratarak çatallı parça orta kısmına çevresel olarak yığar ve böylece her iki parça kenetlemeli kilitleme ile birleştirilir.

Mevcut durumdaki metalurjik birleştirme ise, plastik deformasyon yoluyla yığılan direksiyon üst mili duvarı ve temasta bulunduğu çatallı parça arasındaki karşılıklı iki noktaya punta kaynağı uygulanması şeklinde gerçekleştirilir. Punta kaynağının kaynak metali ve ısıdan etkilenmiş bölgede mikroyapı ve mekanik özelliklerde (sertlik, mukavemet ve tokluk) değişim sergileyerek ortaya koyduğu heterojen yapının olumsuz etkisi bilinmektedir. [9]. Ayrıca ısıdan etkilenmiş bölgedeki ince taneli yapının, sürünme mukavemeti ve termal yorulma açısından kritik bir öneme sahip olduğu da unutulmamalıdır. Zira bu bölge çoğu hasara neden olmaktadır [10].

Bu çalışmada mevcut proses ve ürün tasarımının geliştirilmesi sırasında kullanılan termal (punta kaynağı) ve mekanik birleştirmenin (kenetlemeli kilitleme) etkisi incelenmiştir.

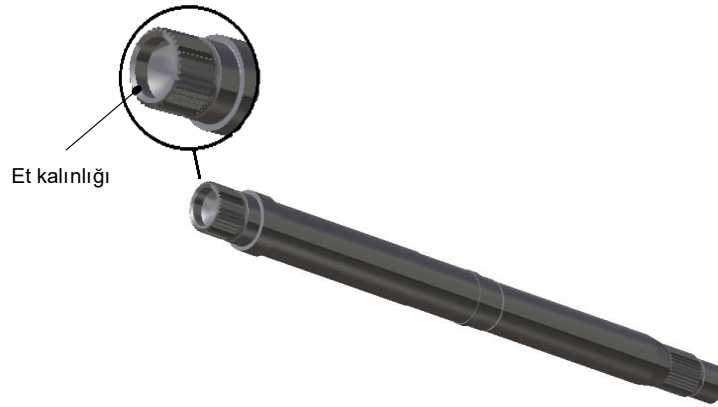
2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada ilk olarak mevcut tasarım üzerinde gerçekleştirilen bir dizi geometrik değişiklik ile bilgisayar ortamında üç boyutlu katı modeller ortaya koyulmuştur. Ortaya koyulan üç boyutlu katı modeller sonlu elemanlar analizi yöntemi ile sanal olarak doğrulanırken, üretilen prototipler ise universal test cihazında (çekme-basma-eğme) gerçekleştirilen testlerle doğrulanmıştır. Dolayısıyla, çalışma süresince izlenen metotları sonlu elemanlar analizi ve deneysel çalışma olarak gruplamak mümkündür.

Direksiyon üst mili ve çatallı parçanın mevcut durumdaki birleştirilmesi ilk olarak pres altında kenetlemeli kilitleme ve hemen sonrasında punta kaynağı ile sağlanmaktaydı. İki parça arasında ortaya koyulan birleştirmenin performansını arttırmak için, kenetlemeli kilitleme ve punta kaynağı yöntemlerinin ürün üzerindeki etkisinin anlaşılması gerekir. Bu nedenle her iki birleştirme yöntemi ayrı ayrı incelenerek ürün üzerindeki etkisi ortaya koyulmuştur.

Kenetlemeli kilitlemede en önemli etmen, çatallı parça orta kısmına çevresel olarak yığılan direksiyon üst mili uç kısmında yer alan spline formlu yapıda yer alan çevresel duvarın et kalınlığıdır. Et kalınlığı ne kadar artarsa plastik deformasyonla ortaya koyulan

kenetlemeli kilitlemenin tutuculuğu yükselir, yani bağlantı güçlenir ve bağlantıyı ayırmak için gereken karşı kuvvet ihtiyacı da artar. Buradaki kısıt, et kalınlığının kilitleme için yeterli plastik deformasyonu sağlayacak boyutta olmasıdır. Aksi halde pres altında deformasyona uğratılan çevresel duvar yeterli kilitlemeyi sağlayacak şekilde çatallı parça orta kısmına çevresel olarak yığılamaz ve iki parça arasındaki kurulan bağlantı zayıflar. Çevresel duvarın optimum et kalınlığının tespiti için, ilk olarak direksiyon üst mili uç kısmında yer alan çevresel duvarın sahip olduğu mevcut et kalınlığı artırılarak mevcut tasarımın haricinde 4 farklı yeni direksiyon üst mili tasarlanmış (Şekil 2) ve üç boyutlu katı modellemesi yapılmıştır.

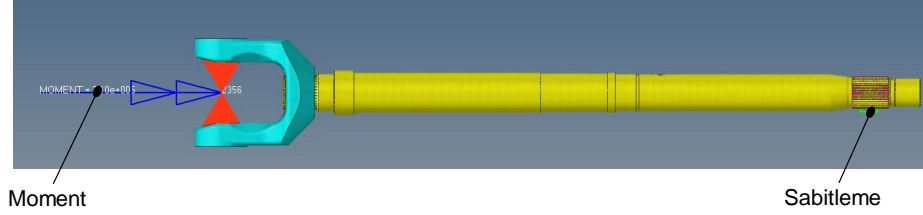


Tasarım No	Tasarım	Et Kalınlığı Artırma (mm)
1	Mevcut	0
2	Yeni	1
3	Yeni	2
4	Yeni	3
5	Yeni	4

Şekil 2. Direksiyon üst milinde tasarım değişikliği

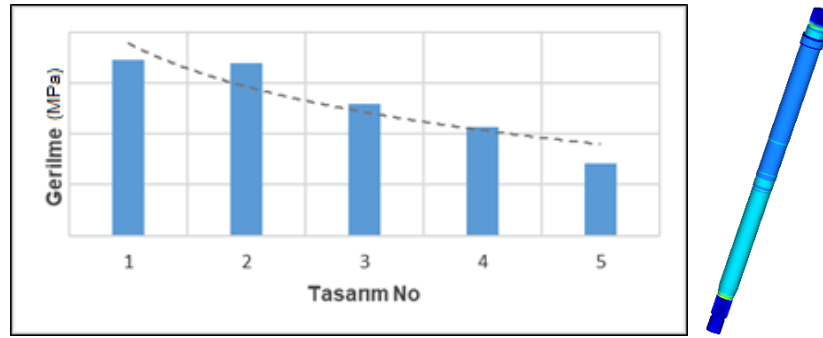
Tasarım değişiklikleri ile elde edilen üç boyutlu katı modeller ticari sonlu elemanlar paket programı kullanılarak lineer statik analiz ile sanal olarak doğrulanmıştır. Sonlu elemanlar analizinde, alternatif tasarıma sahip direksiyon üst milleri ve çatallı parça katı modellerinin montajlanmasıyla elde edilen katı modeller kullanılmıştır (Şekil 3). Sınır şartı olarak direksiyon üst milinin boşta kalan ucu sabitlenmiştir. Direksiyon üst mili ile çatallı parça arasındaki bağlantı freze kontak ile sağlanıp çatallı parça üzerine 300 N.m değerinde moment uygulanmıştır (Şekil 3). Gerek moment uygulama gerekse sabitleme

tanımlamalarında, ilgili bölgelerde oluşturulan rigid elemanlardan yararlanılmıştır. Malzeme olarak izotropik çelik kullanılarak yoğunluk $7,85 \times 10^{-9} \text{ kg/mm}^3$, elastisite modülü 200 GPa ve $n=0,3$ alınmıştır.



Şekil 3. Sonlu elemanlar modeli, üzerine uygulanan yük ve sınır koşulları

Sonlu elemanlar analizinin uygulanmasındaki amaç, ortaya koyulan alternatif tasarım ile, mevcutta tasarıma göre performans artışı elde etmektir. Bu nedenle sonlu elemanlar analizi sonucunda numuneler üzerinde oluşan von Mises gerilme değerlerindeki değişim Şekil 4’de özetlenmiş olup, Tablo 1’de belirtilen tüm alternatif tasarımlar (tasarım no: 2,3,4,5) üzerindeki en yüksek von Mises gerilme değerlerinin mevcut tasarıma (tasarım no:1) göre daha düşük çıktığı ve dört alternatif tasarımın da numune üretiminde kullanılabileceği tespit edilmiştir.



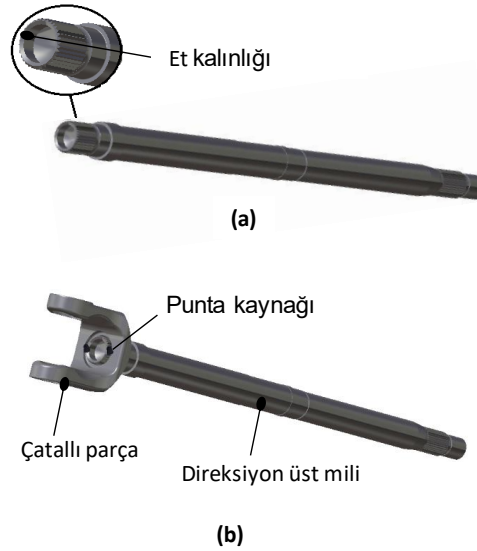
Şekil 4. Direksiyon üst mili mevcut ve alternatif tasarımlar üzerinde oluşan von Mises gerilmelerindeki değişim

Sonlu elemanlar analizi ile alternatif tasarımların doğrulanması sonrasında, deneysel çalışmalara geçilmiştir. Deneysel çalışmalar, mevcut tasarım gereği uygulanmakta olan termal etki (punta kaynağı) ve yeni alternatif tasarımlar üzerindeki mekanik birleştirmenin (kenetlemeli kilitleme) etkisi olmak üzere iki ayrı etkiyi incelemek üzere gerçekleştirilmiştir.

Mekanik birleştirmenin etkisini incelemek amacıyla, çatallı parça ve karşılığı olan direksiyon üst milinin punta kaynağı olmaksızın yalnızca pres altında direksiyon üst mili ucunun plastik deformasyonu (kenetlemeli kilitleme) sağlanan birleştirmeyi içeren numuneler kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmada, numunelerdeki kenetlemeli kilitleme şeklindeki bağlantıyı ayırmak için ihtiyaç duyulan karşı kuvvet (çıkma kuvveti) ortaya koyulmuştur.

Termal etkiyi incelemek için, kenetlemeli kilitlemenin yanında punta kaynağının da uygulanmasıyla sağlanan birleştirmeye sahip numuneler kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmada ise, kenetlemeli kilitleme ve kaynak içeren bağlantıyı ayırmak için ihtiyaç duyulan karşı kuvvet (çıkma kuvveti) ortaya koyulmuştur.

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere, mevcut tasarım ve prosesi yansıtan numunelerle birlikte farklı et kalınlığındaki yeni tasarım direksiyon üst mili numuneleri seri üretim koşullarında üretilmiş ve çatallı parça ile birleştirilerek (Şekil 5) komple numuneler ortaya koyulmuştur (Tablo 1).



Şekil 5. Deneysel çalışmalar için üretilen numuneler ve üretim yöntemleri (a) plastik deformasyon ile çatallı parça üzerine yığılan et kalınlığı (b) Yığılan malzeme ve çatallı parça üzerine uygulanan punta kaynağı

Tablo 1. Deneysel çalışmalar için üretilmiş numune çeşitliliği

Numune	Et Kalınlığı Artışı* (mm)	Kenetlemeli Kilitleme (Yığılma/Ezme)	Punta Kaynağı (Karşılıklı 2 nokta)
1/A	0	VAR	YOK
1/B	0	VAR	VAR
2/A	1	VAR	YOK
3/A	2	VAR	YOK
3/B	2	VAR	VAR
4/A	3	VAR	YOK
4/B	3	VAR	VAR
5/A	4	VAR	YOK

*Alternatif direksiyon üst mili tasarımlarında uç kısımdaki, birleştirme amacıyla plastik deformasyona uğratılan et kalınlığının mevcut tasarıma göre artış miktarını ifade eder.

Birleştirme işlemi sırasında plastik deformasyona maruz bırakılan direksiyon üst mili numuneleri ıslah çeliğinden imal edilmiştir. Malzemeye ait kimyasal kompozisyonlar % ağırlık olarak Tablo 2’de, mekanik özellikler ise Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 2. Malzeme kimyasal bileşimi

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
%	0,38 0,45	≤ 0,40	0,60 0,90	≤ 0,025	≤ 0,035	0,90 1,20	0,15 0,30

Tablo 3. Malzeme mekanik özellikleri (ıslah koşullarında)

Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Uzama
N/mm ² (min)	N/mm ² (min)	% (min)
750	1.000 1.200	11

Deneysel çalışmalar Tablo 1’de ifade edilen numuneler üzerinde Şekil 6’da gösterilen universal test cihazında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin çekme numunelerinden farklı olması sebebiyle, test cihazına adaptasyonları için yeni bir bağlantı aparatı geliştirilmiş ve çalışmalarda kullanılmıştır.



Şekil 6. Deneysel çalışmalarda kullanılan universal test cihazı

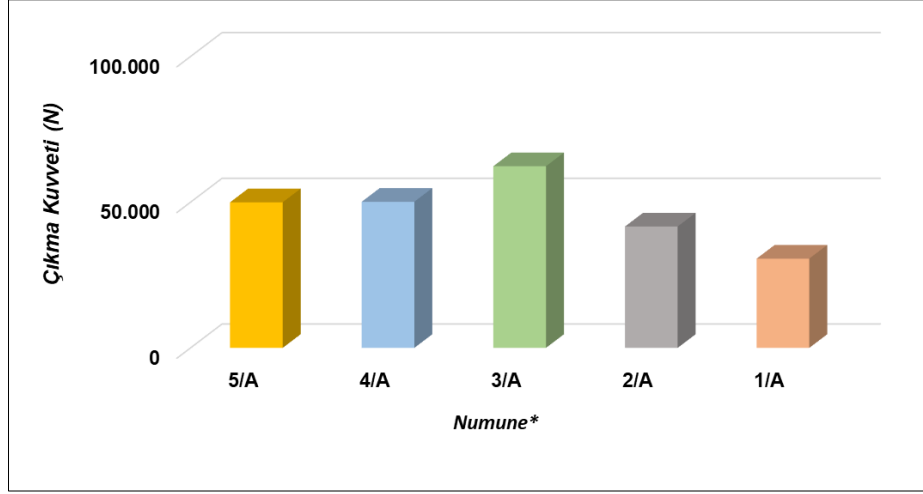
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sonlu elemanlar analizi sonucunda direksiyon üst mili uç kısmında yer alan et kalınlığının artmasıyla, ilgili bölgedeki von Mises gerilme değerleri düşmektedir.

Deneysel çalışmalar, mevcut tasarımda uygulanan punta kaynağının etkisini ve yeni alternatif tasarımlar üzerindeki mekanik birleştirmenin (kenetlemeli kilitleme) etkisini incelemek üzere iki ayrı şekilde ele alınmıştır.

Deneysel çalışmalar ilk olarak, yalnızca mekanik birleştirmenin etkisini görmek amacıyla punta kaynağı içermeyen mevcut tasarım (1/A) ve alternatif tasarım (2/A, 3/A, 4/A, 5/A) numuneleri üzerinde yapılmıştır. Kullanılan numuneler ve aralarındaki farkı ortaya koyan spline ucu et kalınlıklarındaki artış miktarı Tablo 1’de verilmiştir. İlk deneysel çalışmaların sonucunda, yalnızca mekanik birleştirme uygulamasıyla elde edilen çatallı parça-direksiyon üst mili bağlantısını ayırmak için gereken, çıkma kuvveti olarak adlandırabileceğimiz kuvvet elde edilmiş ve Tablo 4’de verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde mevcut tasarımı temsil eden punta kaynaklı numuneye (1/A) göre spline ucu et kalınlığı 2 mm arttırılan alternatif tasarıma ait punta kaynaklı numunenin (3/A), mekanik birleştirmede performans artışı sergilediği görülmektedir.

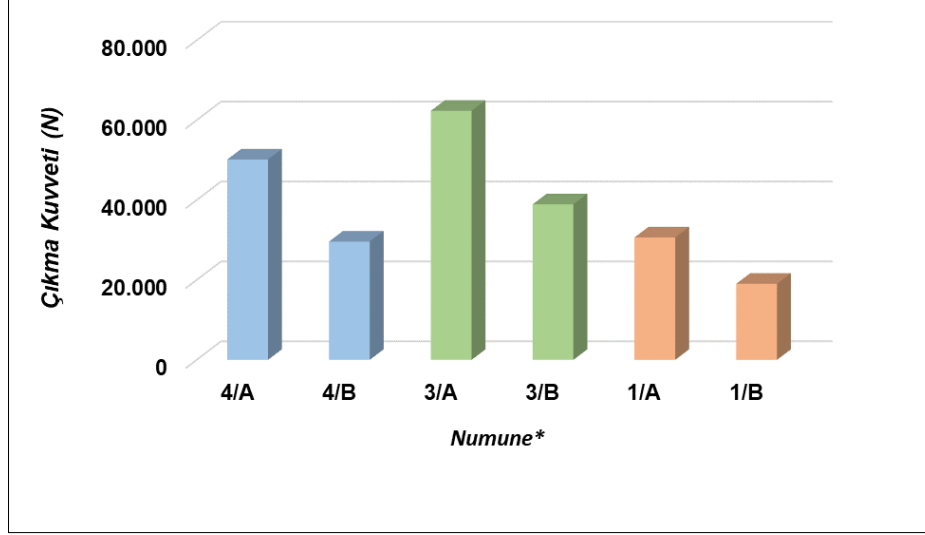
Tablo 4. Direksiyon millerinde mekanik birleştirme (kenetlemeli kilitleme) ile sağlanan bağlantıyı ayırmak için gereken karşı kuvvet (çıkma kuvveti)



*Numune özellikleri Tablo 1' de yer almaktadır (A: kaynaksız; B: kaynaklı)

DeneySEL çalışmaların ikincisi ise punta kaynağının tasarım açısından etkisini ortaya koymak üzere, aynı spline ucu et kalınlığına sahip tasarımların punta kaynağı içeren ve içermeyen numuneleri üzerinde yapılmıştır. Kullanılan numuneler ve aralarındaki farkı ortaya koyan spline ucu et kalınlıklarındaki artış miktarı Tablo 1'de verilmiştir. İkinci deneySEL çalışma ile, aynı et kalınlığına sahip olan bir tasarım için punta kaynağının o tasarım üzerindeki etkisi tespit edilmiştir. Sonuç olarak, numunelerde kullanılan bağlantıyı ayırmak için gereken çıkma kuvvetleri elde edilmiş ve Tablo 5'de ortaya koyulmuştur. Tablo 5, spline ucunda aynı et kalınlığına sahip direksiyon üst milleri ile çatallı parça arasında sağlanan bağlantının, kaynaklı ve kaynaksız olarak karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Tablo 5 üzerinde, aynı spline ucu et kalınlığındaki tasarıma ait punta kaynaklı (B) ve punta kaynaklı (A) numuneler birbiri ile karşılaştırıldığında, punta kaynaklı (A) numunelerin ortaya koyduğu çıkma kuvvetlerinin daha yüksek olduğu, dolayısıyla bağlantıda performans artışı sergiledikleri görülmektedir. Diğer yandan, spline ucu et kalınlığı farklı olan punta kaynaklı mevcut ve alternatif tasarıma ait numuneler (4/A, 3/A, 1/A) birbiri ile karşılaştırıldığında, spline ucu et kalınlığı 2 mm arttırılan alternatif tasarıma ait punta kaynaklı numunenin (3/A) en yüksek çıkma kuvvetine sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Direksiyon millerinde mekanik birleştirme (kenetlemeli kilitleme) ve punta kaynağı ile sağlanan bağlantıyı ayırmak için gereken karşı kuvvet (çıkma kuvveti)



*Numune özellikleri Tablo 1' de yer almaktadır (A: kaynaklı; B: kaynaklı)

Çalışma içerdiği yöntem ve ortaya koyduğu sonuçlar açısından literatürde yer alan diğer çalışmalardan farklılaşmakta olup, direksiyon üst mili ve çatallı parça arasındaki bağlantıya odaklanmakta ve kullanılan birleştirme yöntemlerinin etkisini inceleyerek geliştirilmesine çözüm sunmaktadır.

Çalışmaya konu olan direksiyon üst mili ve çatallı parça arasındaki bağlantı özelinde literatürde yer alan Min ve Kim [11] tarafından ortaya koyulan çalışmada, direksiyon üst mili ve çatallı parça birbirinden ayrı olarak üretilip sonrasında birleştirilmek yerine, tek parça olarak soğuk dövme yöntemi ile üretilmektedir. Ancak, maliyet düşürücü bir çözüm olarak sunulan bu yöntem ürün çeşitliliği ele alındığında etkisini kaybetmektedir. Zira direksiyon üst mili ve çatallı parçanın farklı kombinasyonlarda bir araya getirilmesinin söz konusu olduğu durumlarda her kombinasyon için yeni bir kalıp yatırımı gerekmektedir.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

- Üretilen tüm alternatif tasarım numunelerinde, direksiyon üst mili uç kısmında yer alan spline formlu yapının et kalınlığı, mekanik birleştirme (kenetlemeli kilitleme) oluşturmak için ihtiyaç duyulan plastik deformasyona uğramıştır.
- Direksiyon üst mili uç kısmında yer alan spline formlu yapının et kalınlığı her ne kadar 1 mm arttırıldığında mevcut duruma göre daha yüksek çıkma kuvveti sağlasa da, 2

mm arttırıldığında en yüksek çıkma kuvvetine ulaşılmaktadır. Et kalınlığı 2mm üzerinde arttırıldığında (3mm, 4 mm) mevcut tasarıma göre daha etkili bir kenetlemeli kilitleme sağlanamamaktadır (düşük çıkma kuvveti). Bu da et kalınlığının 2 mm üzerinde arttırılmasının, mevcuda göre yüksek çıkma kuvveti elde etmek için yeterli plastik deformasyonu sağlayamadığına işaret etmektedir.

- Kaynak içermeyen numunelerde, çatallı parça ve direksiyon üst mili arasında sağlanan bağlantıyı ayırmak için gereken kuvvetin kaynak içeren numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Yani kaynağın çatallı parça ve direksiyon üst mili birleştirilmesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu açıkça ortaya koyulmuştur. Kaynağın konu bağlantı üzerinde ortaya koyulan olumsuz etkisi ayrı bir çalışma konusu olarak ele alınabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Würges M., “New Electrical Power Steering Systems”, Encyclopedia of Automotive Engineering, (2014).
- [2] Anwar M. et al, “Steering System of Go-Kart”, IARJSET, Vol. 4, Issue, (2017).
- [3] Durstine, J., "The Truck Steering System From Hand Wheel to Road Wheel", SAE Technical Paper 730039, (1973).
- [4] Allison A, Scudamore R, “European Strategic Research Agenda”, Joining Sub-Platform SRA, (2014).
- [5] Martinsen K., et al., “Joining of dissimilar materials”, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 64/2 (2015).
- [6] Messler RW, “Joining of materials and structures: From Pragmatic Process to Enabling Technology”, Butterworth-Heinemann, New York, 790 pages (2004).
- [7] Campbell FC., “Joining: Understanding the Basics” ASM International, 336 pages, (2011).
- [8] Ken-ichiro Mori et al., “Joining by plastic deformation”, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 62/1 (2013).
- [9] Quintana M. A., Johnson M.Q., “The effects of intermixed weld metal on mechanical properties”, Weld J. 78 (3), 87s-99s, (1999).

- [10] Śloderbach Z., Pajak J. “Determination of Ranges of Components of Heat Affected Zone Including Changes of Structure”, Institute of Metallurgy and Materials Science of Polish Academy of Sciences, Volume 60, Issue 4., 2607–2612, (2015).
- [11] Min D., Kim M., “A Study On Precision Cold Forging Process Improvements For The Steering Yoke Of Automobiles By The Rigid–Plastic Finite-Element Method”, Journal of Materials Processing Technology, 138, (2003).